

南海夏季风爆发与冬春季南海上层海洋热含量关系的初探

王丽娟¹, 王辉^{2*}, 金啟华³, 殷占福⁴

(1. 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081; 2. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081; 3. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 4. 中国气象局行政管理局, 北京 10008)

摘要: 利用 1980 年 1 月至 2007 年 12 月逐月的南海上层海洋热含量和逐层海温资料, 分析了南海夏季风爆发早年和晚年前一年冬季和春季南海上层海洋热含量的时空分布特征及其与南海夏季风爆发的关系, 并在此基础上, 进一步探讨了热含量影响南海夏季风爆发早晚的可能原因。结果表明, 南海上层海洋热含量的变化集中体现在中南部($8^{\circ}\sim 16^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$), 而且热含量变化的信号在南海 100~200 m 之间最强。季风爆发早、晚年的冬春季, 南海中南部热含量呈反位相变化。当南海夏季风早(晚)爆发, 热含量为正(负)距平。南海夏季风爆发早晚与前期 1~5 月份南海中南部上层海洋热含量有显著负相关关系, 尤其是 3 月份相关关系最好。当热含量为正(负)距平时, 上层海洋异常得到(失去)热量, 增大(减弱)了季风爆发前陆地冷海洋暖的海陆温差, 有利于南海夏季风的早(晚)爆发。

关键词: 南海; 上层海洋热含量; 南海夏季风

中图分类号: P732.6

文献标志码: A

文章编号: 0252-4193(2011)04-0049-13

1 引言

南海是西北太平洋边缘海, 属于典型的季风区。它既是世界上最大海洋热库的重要组成部分^[1], 也是海气相互作用的敏感区。南海及其周边海洋与季风的爆发和演变关系密切^[2]。丁一汇等^[2-4]指出, 海-气界面的热量交换和前期海温是南海西南季风爆发早晚和强弱的重要强迫因子之一。任雪娟和钱永甫^[5]指出海洋对大气的最终体现在海洋和大气的热量交换上。因此, 明确南海上层海洋热力过程对深入理解南海区域海气相互作用的机制有重要的作用。

海洋中大部分热量变化都发生在海洋上层, 前期海温的变化影响着季风爆发的早晚和强弱, 上层海洋热力结构变化规律的研究是南海海洋热力学研究的主要内容^[6]。早在 20 世纪 70 年代后期中国物

理海洋学者就开始从事南海海-气相互作用与气候变化的研究^[6]。直到 90 年代中期, 多数学者均将注意力集中于不同时间尺度的海表面温度变化上^[7-9], 这些工作都在一定程度上揭示了海表面温度的时空分布及其与气候异常的关系。由于整个海洋上层的热状况比海表面温度具有更大的稳定性, 因而对天气气候持续发展的作用也就更大。到了 90 年代后期, 学者们也开始对表层以下海水温度变化及影响展开研究^[6]。何有海、关翠华等^[10-11]根据观测资料研究了南海南部热结构和水温的垂直分布, 得出南海上层海温和热含量存在显著的年际变化, 具有准两年和 4~5 a 的振动周期, 与西太平洋副热带高压和季风变化有关。特别是 1998 年 5~8 月, 几十个国家和地区参加的大气与海洋联合试验即“南海季风试验”实施后, 学者们对上层海洋的热力结构展开了比

收稿日期: 2009-11-13; 修订日期: 2010-07-14。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41076001; 40531006)。

作者简介: 王丽娟(1982—), 女, 山西省交城县人, 硕士, 主要从事海气界面热通量的研究。E-mail: wanglj_001@163.com

* 通信作者: 王辉, 研究员, 博士生导师。E-mail: wanghui@cma.gov.cn

较深入的研究,并取得了丰硕的成果。张秀芝、李江龙等^[12-14]使用 JEDAC 海温资料研究了热带次表层海温与南海夏季风的关系,发现反映南海夏季风的热带太平洋到印度洋强信号出现在 120 m 层,南海海温强信号出现在 80 m 层。周发琇、高荣珍等^[15-16]利用浮标资料分析南海中北部次表层海温的年变化特征,得到不同区域上层海洋热变化受不同的正压与斜压模态控制。吴迪生等^[17-18]使用长度时间序列的实测水温资料分析了南海中北部次表层水温与南海夏季风的关系,得出南海夏季风建立的早(晚)与南海中北部次表层水温持续偏暖(偏冷)现象关系密切。此外,不少学者还研究了其他海域热力过程与南海夏季风爆发的关系。高辉等^[19]指出,北太平洋区域当前冬一年冬季海温偏低时,季风爆发偏晚,反之偏早。黄荣辉等^[20]指出,春季热带西太平洋处于暖(冷)状态时,南海夏季风爆发早(晚)。陈永利、胡敦欣^[21]指出,南海夏季风爆发与前期西太平洋暖池区热状态有密切关系。前期暖池热含量高(低)时,南海夏季风爆发早(晚)。温之平等^[22]指出,热带印度洋和热带东太平洋前期海温比常年偏低(偏高)时,南海夏季风建立偏早(偏晚),但热带印度洋和热带太平洋海温异常的变化在有些年份并不一定相同,从而对南海夏季风建立早晚的影响也不相同。但是,前面的工作主要是针对南海热力结构的时空分布特征进行研究,对于南海夏季风爆发早晚年,南海上层海洋热力结构异常特征,特别是上层海洋热含量的变化,还没有系统的分析。另一方面,前面工作多是研究南海表层海温和季风爆发的关系,或者是热带海域和南海夏季风爆发的关系,专门研究南海低层大气到上层海洋热力过程,及其对南海夏季风爆发影响的还比较少。因此,本文将使用热容量资料和空间分辨率较高的海温资料研究南海上层海洋热力结构异常的时空分布特征,并初步提出南海南部热含量影响季风爆发的可能原因。

2 资料及方法

本文采用的热含量资料是美国 Scripps 海洋研

究所提供的 0~400 m 上层海洋月平均资料,该资料是 1955 年 1 月至 2003 年 12 月的逐月资料,其纬向分辨率为 2°,经向分辨率为 5°。海温资料采用 1980 年 1 月到 2007 年 12 月美国马里兰大学提供的 SODA(Simple Ocean Data Assimilation)资料,其空间分辨率为 0.5°×0.5°。850 hPa 风场资料选用 1980 年 1 月到 2007 年 12 月美国 NCEP/NCAR 的逐日资料,其空间分辨率为 2.5°×2.5°。同时,本文的潜热通量资料是通过使用 COARE2.6a 算法对 NCEP2 的常规变量场进行计算得到的^[23]。该资料是 1982 年 1 月至 2001 年 12 月的逐日资料,空间分辨率为 1°×1°,空间范围是 2.5°S—28.5°N,98.5°~125.5°E。

本文选取的研究范围是 0°~25°N,100°~125°E,垂直方向为海表面到 400 m 深,共分为 19 层,自下而上的深度分别为 381.39 m,317.65 m,268.46 m,229.48 m,197.79 m,171.4 m,148.96 m,129.49 m,112.32 m,96.92 m,82.92 m,70.02 m,57.98 m,46.61 m,35.76 m,25.28 m,15.07 m,5.01 m。

为了确定南海夏季风与海洋热力结构的关系,我们需要确定每年南海夏季风的爆发时间。关于季风爆发早晚年的确定,前人基于动力学和热力学考虑,采用南海特定地区能反映南海夏季风建立的某些特征参数(如风、温、湿度、散度、涡度、降水、OLR、TBB、海温等),来定义南海夏季风的爆发。通过对不同的南海夏季风爆发指数的综合比较,本文选用 Wang Bin 定义的南海夏季风爆发指数^[24],并且根据该指数计算得到了 1980—2007 年逐年南海季风的爆发时间(表 1)。经计算并且与各家定义的南海夏季风爆发指数所得结果的比较^[25],最后我们选取 1986,1994,1996,2000,2001 年代表南海夏季风爆发早的年份,1982,1987,1991,1993,1998 年代表南海夏季风爆发晚的年份。

本文利用上述资料探讨了南海夏季风爆发早晚年,上层海洋热力结构的变化,并进一步分析了海洋热力结构在低层大气与上层海洋相互作用中的影响。

表 1 南海夏季风爆发时间(候)

年份	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
时间	27	31	31	31	32	30	27	32	29	32	28	32	33	32
年份	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
时间	25	27	26	28	29	30	26	26	28	28	27	30	31	29

3 季风爆发早、晚年,南海热力结构变化特征

3.1 季风爆发早、晚年前一年冬季,南海热力结构异常的空间分布

为了研究季风爆发前一年冬季南海热力结构和夏季风爆发的关系,我们首先分析季风爆发早晚年12月至翌年2月南海热含量距平和海温距平的分布特征。

图1a,b分别为季风爆发早、晚年前一年冬季南海上层海洋热含量距平分布图。从量值上可以看

出,在季风爆发早年的前一年冬季(图1a), 12°N 以北的南海海域热含量为负距平;而 12°N 以南的热含量为正距平,并且随着纬度的降低,热含量较常年偏高越多,最大值可达 $2 \times 10^8 \text{ W}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 以上。在季风爆发晚年的前一年冬季(图1b),南海全海域热含量均为负距平,值得注意的是, 12°N 以南地区热通量随着纬度的降低,热含量较常年同期越偏低,最大值可达 $-6 \times 10^8 \text{ W}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 以上。通过以上分析可知,季风爆发早年, 10°N 南北两侧的南海海域热含量距平相反。季风爆发早年与晚年相比,南海南部热含量距平呈反位相,而南海北部则没有这种关系。

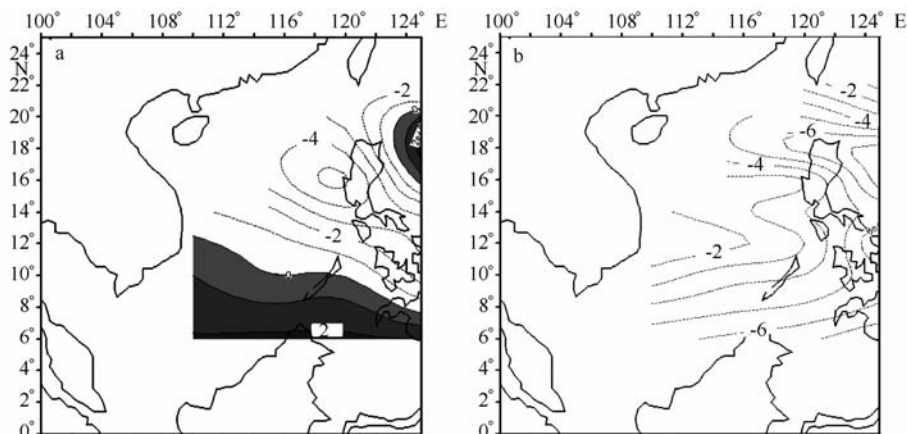


图1 季风爆发早年(a)、晚年(b)前一年冬季南海上层海洋热含量距平分布图(单位: $10^8 \text{ W}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$)
阴影区代表正距平

图2a,b分别为南海夏季风爆发早晚年前一年冬季合成的南海地区($110^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$)海温纬度-深度图。由图可见,季风爆发早晚年的前一年冬季,南海海温距平纬向分布并不均匀。在南

海北部,除 $16 \sim 18^{\circ}\text{N}$ 之间两个纬距海温略有偏高外,其他区域的海温均为负距平,这与同期上层海洋热含量距平分布情况一致(图1)。

在南海南部,海温距平的垂向变化明显,而且不

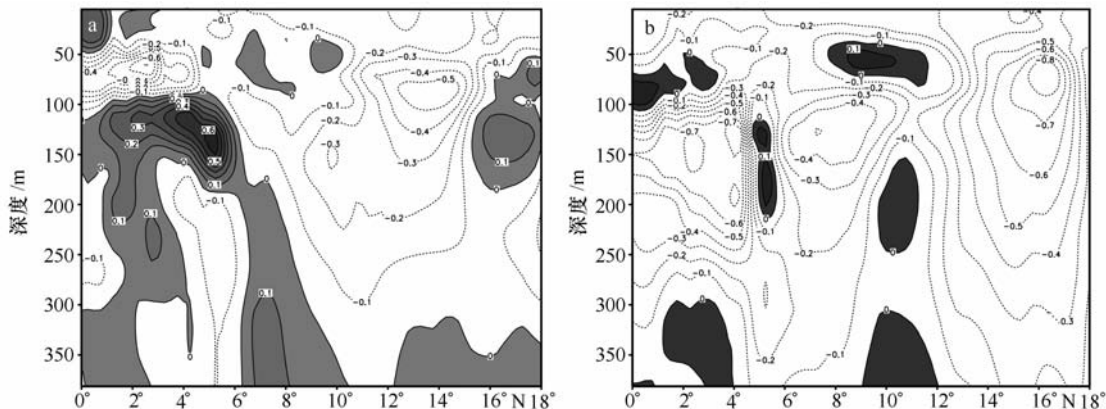


图2 季风爆发早年(a)、晚年(b)前一年冬季合成的南海地区($110^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$)海温的纬度-深度图(单位: $^{\circ}\text{C}$)
阴影区代表正距平

同层次海温变化同季风爆发早晚的关系并不相同。其中,次表层海温年际变化特征最为明显,主要表现在 $0\sim 6^{\circ}\text{N}$, $100\sim 200\text{ m}$ 之间的海域;由于随着深度增加海温变化减小,因此, 200 m 以下海温年际变化特征虽有体现,但海温距平多在 0.1°C 左右。可见,南海南部 $100\sim 200\text{ m}$ 之间的海温与季风爆发早晚年关系密切。进一步逐层分析季风爆发早晚年前一年冬季,海温距平的水平分布(图略),也得到了与此相同的结论。

3.2 季风爆发早、晚年春季,南海热力结构异常的空间分布特征

已有的研究表明,西太平洋暖池区热含量在冬

春季具有明显的持续性,这一特性使得西太平洋暖池区成为影响南海夏季风爆发的重要区域^[21]。那么,南海上层海洋热力结构异常分布特征在次年春季是否依然存在,是否具有持续性?本节着重对该问题进行探讨。

图 3a, b 分别为季风爆发早晚年春季南海上层海洋热含量距平分布图。在季风爆发早年春季(图 3a),南海以 14°N 为界限,两边分别存在一个热含量距平中心, 14°N 以北为负距平中心, 14°N 以南为正距平中心,中心值约为 $3\times 10^8\text{ W}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$;在季风爆发晚年,整个南海为热含量负距平,南部可达 $-8\times 10^8\text{ W}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 。

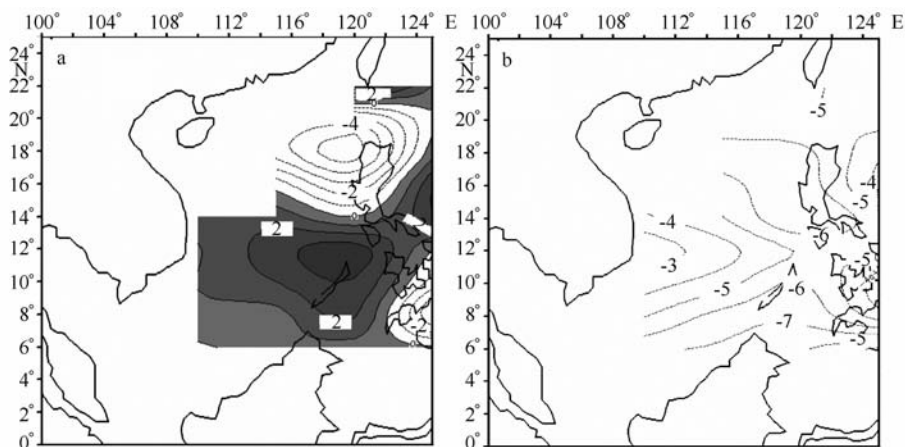


图 3 季风爆发早年(a)、晚年(b)春季南海上层海洋热含量距平分布图(单位: $10^8\text{ W}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$)
阴影区代表正距平

从以上量值分析可知,季风爆发早晚年春季,南海南部热含量距平呈现反位相,南海北部热含量均为负距平,这与季风爆发早晚年前一年冬季热含量距平分布特征基本一致,表明季风爆发早晚年冬春季,南海热含量距平具有持续性。值得注意的是,在季风爆发早年春季,南海南部热含量正距平的范围从 12°N 向北扩展到 14°N ,并且最大距平值增大大约 50%;同样,季风爆发晚年,热含量负距平值也有所增大。说明冬季南海热含量异常不仅持续到春季。

图 4a, b 分别是南海夏季风爆发早晚年春季合成的南海地区 ($110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$) 海温的纬度-深度图。分析各层海温距平场发现:(1)季风爆发早年春季,南海上层海洋以 100 m 为界限,上、下两层海温距平表现形式不同。 100 m 以上层海温均为负距平, $100\sim 400\text{ m}$ 海温均为正距平,与前一年冬季相比,海温正距平范围加大。(2)季风爆发早年春季,

$100\sim 200\text{ m}$ 之间的南海水体,以 12°N 为界限,南部和北部的海温距平表现形式不同。 12°N 以南为海温正距平, 12°N 以北则为海温负距平。即该层南海南北部海温距平反位相,这一结论在季风爆发前一年冬季也有所体现。(3)季风爆发晚年春季,南海上层海温均为负距平,在 $100\sim 200\text{ m}$ 之间存在负距平中心,最大值可达 -0.9°C ,与前一年冬季相比,负距平的强度明显加强。

为进一步从水平分布考察南海南部海温的变化特征,我们逐层分析了季风爆发异常年春季南海海温距平的分布特征。结果显示, 100 m 以上各层海温距平分布特征基本一致,而 $100\sim 200\text{ m}$ 之间的各层海温距平分布特征也基本一致,所以文中取 70 m 和 149 m 分别代表 $0\sim 100\text{ m}$ 之间和 $100\sim 200\text{ m}$ 之间的海温距平。图 5a, b, c, d 为季风爆发早晚年春季,南海 70 m 和 149 m 海温距平分布图。

从图上可以看出,100 m 以上和以下的海温变化相互独立,而且 100~200 m 之间海温年际变化特征

明显,与前面海温纬度-深度图所反映的情况完全一致。

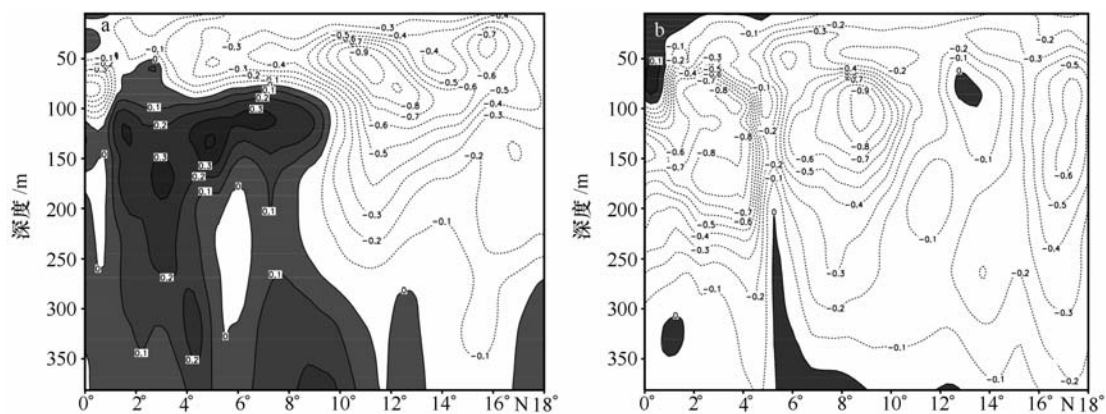


图4 季风爆发早年(a)、晚年(b)春季合成的南海地区(110°~120°E)海温的纬度-深度图(单位:°C)
阴影区代表正距平

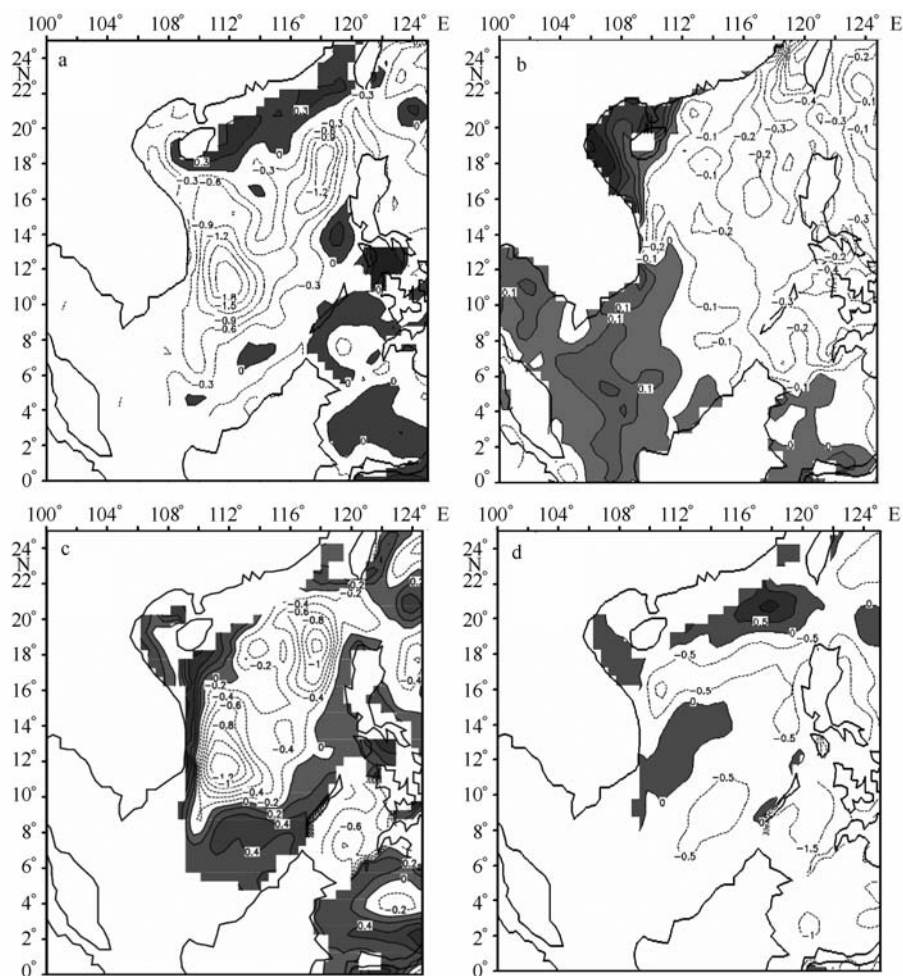


图5 季风爆发早年(a,c)、晚年(b,d)春季南海70 m(上面)和149 m(下面)海温距平分布图(单位:°C)
阴影区代表正距平

通过对季风爆发早晚年冬季和春季,南海海温变化特征的分析,可知:季风爆发早晚年 100~200 m 之间南海南部海温距平反位相、季风爆发早晚年南海南部 100 m 层以上和 100 m 层以下水层的海温距平反位相、南海北部上层海温在季风爆发早晚年均为负距平,以上 3 个上层海洋温度变化特征从季风爆发前一年冬季一直持续到春季,并且异常强度加强。由此说明,南海海温异常在季风爆发前一年冬季和当年春季具有持续性。

前面两节我们对季风爆发异常年,南海上层海洋热含量距平和海温距平的分布特征进行了分析,可以得出,南海上层海洋热力结构的分布形态与南海夏季风爆发的早晚联系紧密。(1)以 12°N 为南北分界线,南海南部海洋热状态在季风爆发早晚年呈反位相变化,北部海域热状态在季风爆发早晚年变化一致;(2)以 100 m 为深度分界线,南海南部上层和下层海洋的海温距平呈反位相;(3)与前一年冬季相比,季风爆发早晚年春季,热含量距平、海温距平的空间分布一致,只是其强度、范围上略有变化。这表明,热含量和海温的变化具有持续性。

另外,南海南部热含量和海温之间的关系也值得关注。在季风爆发早晚年冬春季,南海上层海洋热含量距平为南正北负,100~200 m 海温也表现为同样的分布形态,表明南部海洋异常得到热量,而北部海洋异常失去热量;同样的,在季风爆发晚年冬春季,南海上层海洋热含量均为负距平,100~200 m

海温也表现为同样的分布形态,表明海洋异常失去热量;由此可见,上层海洋热含量变化的信号在 100~200 m 之间最强。这主要是由于 100~200 m 之间往往还处于海洋的温跃层内,海温垂直梯度较大,当大气中的强变化到达温跃层后所产生的变化远大于上混合层。由于温跃层深度较深,不易被海面小扰动所影响,因此具有很强的记忆能力。由于其记忆能力强,又会对后期大气产生影响^[14]。因此,第四节中用 100~200 m 海温与季风爆发的关系来验证热含量与季风爆发的密切联系。

4 季风爆发早晚与南海上层海洋热含量的关系

通过前面合成分析,我们可知,南海夏季风爆发的早晚与南海上层海洋热含量关系密切。因此,本节将对二者之间的相关关系进行分析。

4.1 季风爆发早晚与南海上层海洋热含量的关系

由于热含量资料截至 2003 年,因此我们选用 1980—2003 年共 24 a 的时间序列资料,用南海 850 hPa 风场和季风爆发时间分别与南海上层海洋热含量进行超前相关计算。

下面取南海季风爆发前一年冬季和当年春季南海中南部(8°~16°N, 110°~120°E)上层海洋热含量与 5 月份南海 850 hPa 风场进行相关分析(如图 6, 图 7 所示),其中南海中南部热含量作区域平均。

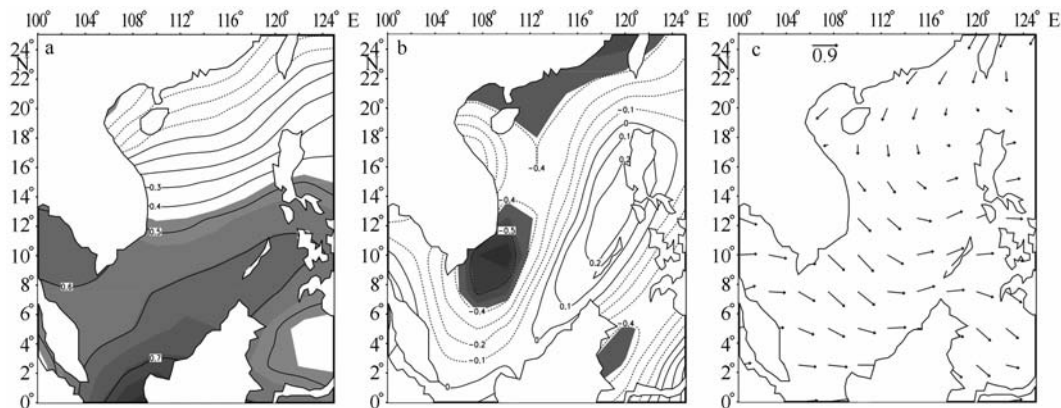


图 6 南海季风爆发前一年冬季南海中南部 0~400 m 热含量分别与 5 月份南海 850 hPa 纬向风场(a)、经向风场(b)相关系数分布图及合成图(c)(a、b 阴影区为通过了 95% 的信度检验)

研究发现,5 月份南海中南部 850 hPa 纬向风场和季风爆发前的冬春季南海中南部 0~400 m 热

含量相关关系很好,呈正相关关系,南海南部相关系数超过 0.6(通过 95% 的信度检验)。同时我们发

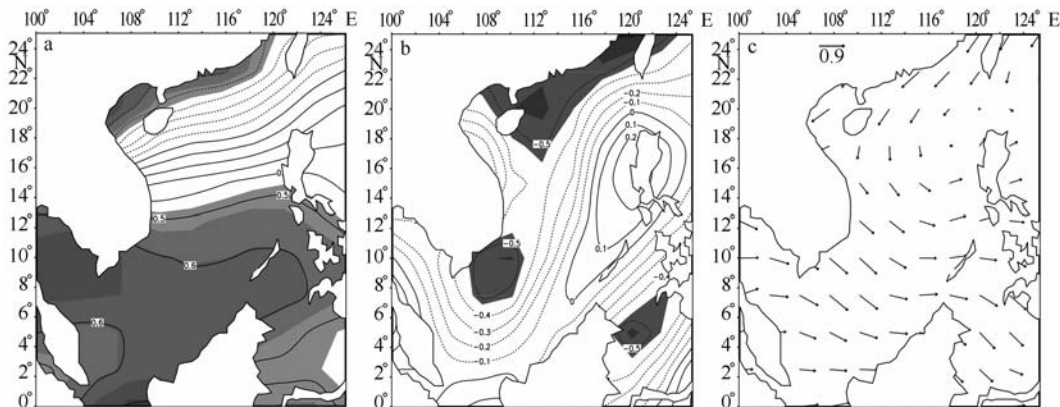


图7 春季南海中南部0~400 m热含量分别与5月份南海850 hPa纬向风场(a)、经向风场(b)相关系数分布图及合成图(c)(a,b阴影区为通过了95%的信度检验)

现,5月份靠近中南半岛的850 hPa经向风场与热含量有负相关关系。由此可见,当冬春季热含量为正距平时,上层海洋异常偏暖,5月份南海850 hPa纬向西风偏强;当热含量为负距平时,上层海洋异常偏冷,5月份南海850 hPa纬向西风异常偏弱。

下面着重讨论南海季风爆发与热含量逐月变化的关系。我们用季风爆发时间分别与季风爆发前的12~5月份上层海洋热含量进行逐点相关计算(见图8),阴影区表示通过了95%的信度检验。从图上可以看出,除12月份以外,南海夏季风爆发和南海上层海洋热含量一直为负相关关系,其中1,2,3月份相关区域相对较大,主要位于南海中南部(8°~16°N,110°~120°E),并向西太平洋扩展,最大相关系数可达-0.5。4月、5月份相关范围有所减小,并向北移动。从相关系数分布范围和时间变化看,南海中南部上层海洋是影响南海夏季风爆发的重要区域,中南部上层海洋热含量具有明显的持续性,与上面合成分析的结论一致。这与“南海上层海洋热含量的增加,以海盆中部最显著”^[30]的结论也是吻合的。

为了检验南海中南部热含量和季风爆发早晚的关系,选取二者显著负相关区(8°~16°N,110°~120°E)的热含量与南海夏季风爆发时间求滞后相关(见图9a)。可以看出,南海中南部热含量从1月份就已经开始显示影响南海夏季风爆发的信号,从2月份开始信号迅速增加,在当年春季3月信号最强,相关系数达-0.5,通过95%的显著性检验,4月、5月份信号强度有所减弱。

更进一步,我们用3月份南海中南部(8°~16°N,110°~120°E)热含量与南海季风爆发时间的距平作时间序列图(如图9b)。从图上可以看出,两

者的变化关系非常密切。南海夏季风爆发早年,除1980年外,1986,1994,1995,1996,2000,2001年南海中南部热含量均为正距平;南海夏季风爆发晚年,除1984,1999年外,1981,1982,1983,1987,1988,1999,1992,1993,1998年均为负距平,即季风爆发前期,当南海中南部热含量为正距平时,南海夏季风爆发早,反之爆发晚。因此,春季南海中南部热含量的高、低可能是南海夏季风爆发早晚的一个预报指标。

4.2 季风爆发早晚与南海100~200 m海温的相关关系

Peter Chu等指出海洋热含量与海温分布和水深有关^[26],而且我们通过第三节分析也得出,南海上层海洋热含量变化的信号在100~200 m最强。那么,本节将通过分析热含量的体现形式之一——100~200 m的海温与季风爆发的关系,进一步深入探讨热含量与南海夏季风爆发之间的相互作用关系。

我们用1980—2007年共28 a的时间序列资料逐层分析了季风爆发早晚和南海南部100~200 m海温的相关关系,发现各层的相关系数分布特征基本一致。这里取149 m层做为代表层,进行详细分析。

图10是南海夏季风爆发时间与季风爆发前12~5月份南海149 m层逐点海温相关图,阴影区通过了95%的信度检验。从图上可以看出,除12月外,南海南部海温与南海夏季风爆发时间为负相关关系,1月相关区域主要位于加里曼丹岛西北方向的海域;2月、3月相关区域逐渐增大,并且在3月份达到最大,相关区域位于南海深水区(5°~11°N,110°~120°E),最大相关值可达-0.5;4月、5月份相关区域略有缩小,中心值仍然维持在一0.5左右。

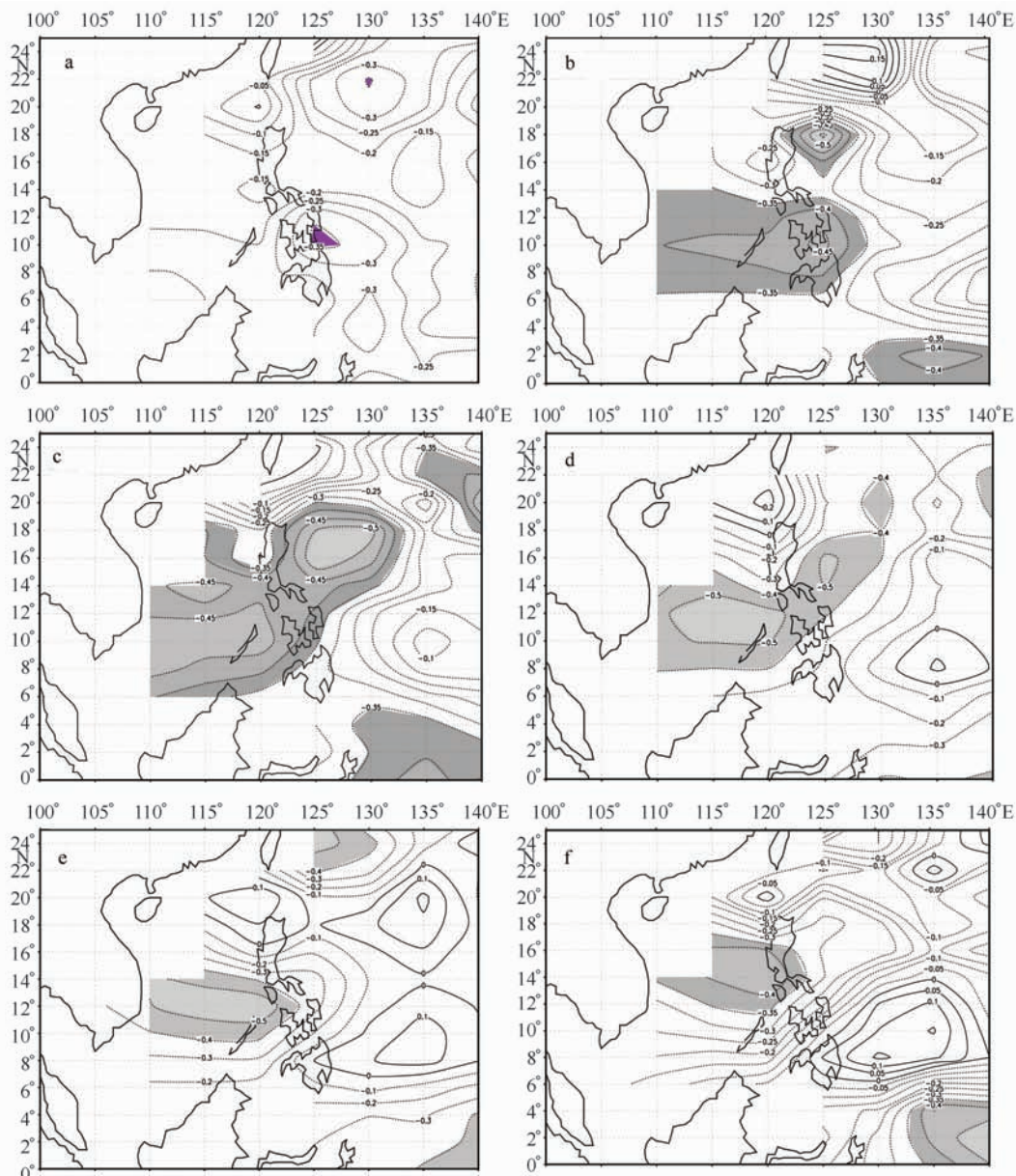


图 8 季风爆发时间和 12~5 月(a-f)热含量相关系数分布图

a. 前一年的 12 月, b. 1 月, c. 2 月, d. 3 月, e. 4 月, f. 5 月; 阴影区为通过了 95% 的信度检验

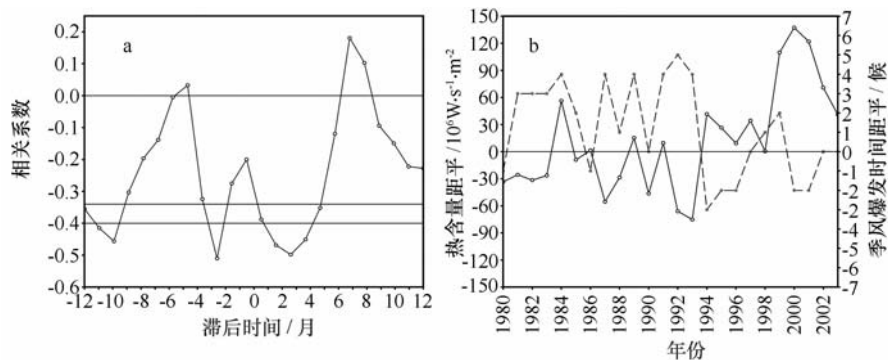


图 9 南海季风爆发时间与南海中南部(8°~16°N, 110°~120°E)热含量的时间滞后相关图(横坐标负数为季风爆发前一年, 正数为季风爆发当年)(a)和南海夏季季风爆发时间距平与 3 月份该区域热含量距平的时间序列图(b)(实线: 热含量距平, 虚线: 爆发时间距平)

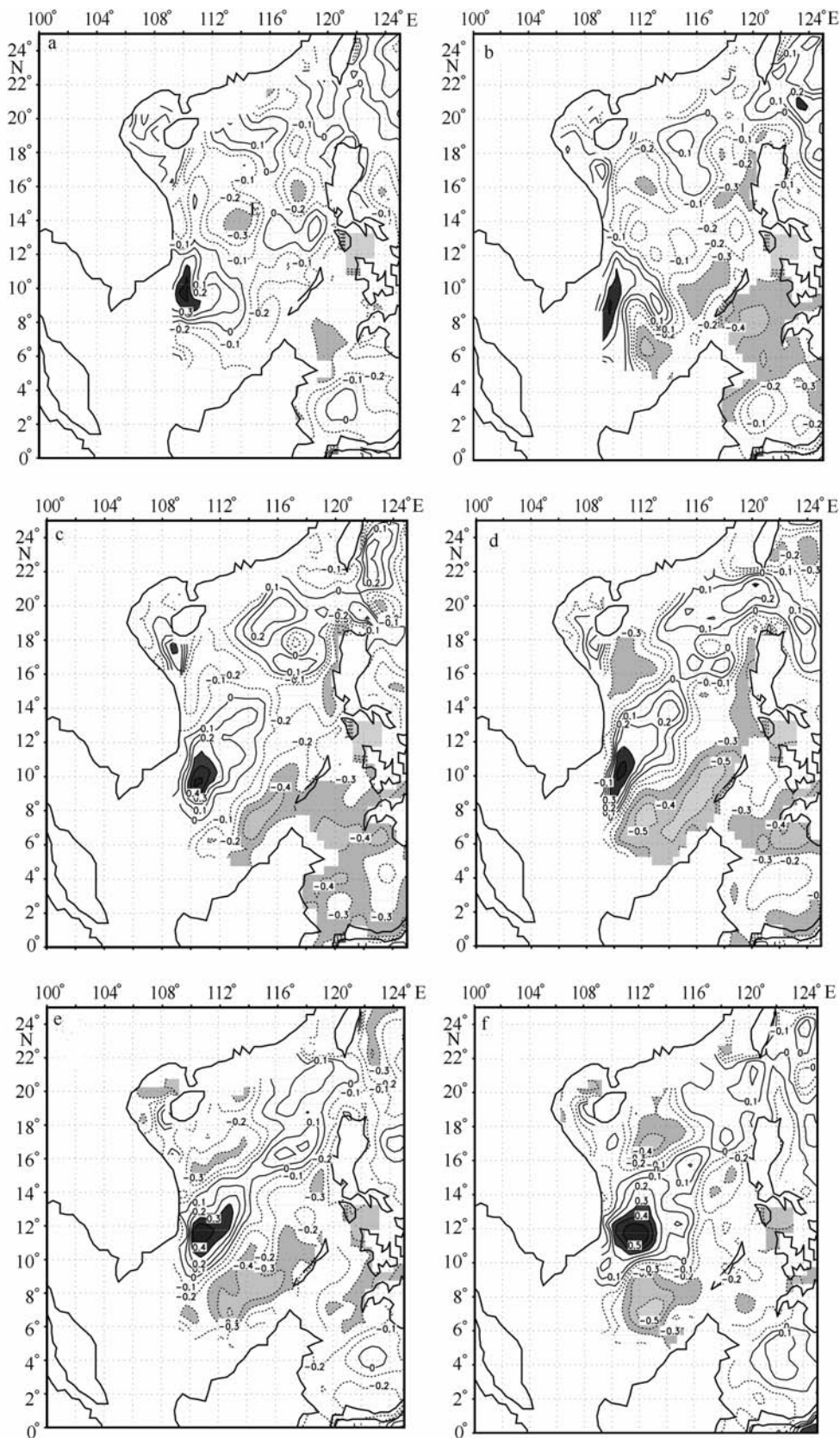


图 10 季风爆发时间和 12~5 月(a—f)南海 149 m 层海温的相关系数分布

a. 前一年的 12 月, b. 1 月, c. 2 月, d. 3 月, e. 4 月, f. 5 月; 阴影区通过了 95% 的信度检验

为了更精确的检验南海南部 100~200 m 海温和季风爆发早晚的关系,选取 149 m 层显著负相关区($5^{\circ}\sim 11^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$)的海温与南海夏季风爆发时间求滞后相关(图 11a)。可以看出,南海南部 100~200 m 海温从 1 月份就已开始影响南海季风爆发,2 月份影响程度增加,以当年 3 月份相关关系最好,最大相关系数大于 -0.6 ,4 月、5 月份影响程度减弱。图 11b 是 3 月份南海南部($5^{\circ}\sim 11^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$)149 m 层海温距平与南海季风爆发时间距平序列图。从图上可以看出,南海夏季风爆发早年,除 1980 年除外,1986,1994,1995,1996,2000,2001,2004 年南海南部 149 m 层海温均为正距平;南海夏季风爆发晚年,除 1989,1999,2005,2006,2007 年外,1981,1982,1983,1984,1985,1987,1988,1991,1992,1993,1998 年均为负距平。季风爆发前期,南海南部 149 m 层海温为正距平时,南海夏季风爆发早,反之爆发晚。3 月份是南海海温开始回升的季节,因此,春季南海南部 100~200 m 海温的高、低可能是南海夏季风爆发早晚的一个预报指标。

通过以上分析可得,次表层海温与南海夏季风爆发显著相关,次表层海温、热含量变化与季风爆发的相关程度和分布特征基本吻合。由此可见,南海上层海洋热含量影响南海夏季风爆发的重要区域并不在海洋表层,而主要集中在 100~200 m 的次表层,在水平方向上主要集中在南海中南部海盆($8^{\circ}\sim 16^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$),相关关系从季风爆发当年的 1 月份一直持续到 5 月份。因此南海中南部 100~200 m 的海域是影响南海夏季风爆发的一个重要区域。当该区域海洋的热含量为正距平时,南海夏季

风爆发早;反之,当该区域海洋的热含量为负距平时,南海夏季风爆发晚。

4.3 南海上层海洋热含量影响季风爆发的可能原因

海洋热含量主要反映海洋热状态。很多学者的研究表明,上层海洋热含量的变化对大气环流有重要影响^[27]。本文前面分析也表明,南海上层海洋热含量和南海夏季风爆发关系密切。那么,热含量为什么变化,又如何影响南海夏季风爆发呢?本节将对可能原因进行初步分析。

已有的研究表明,海气界面净热通量是南海上层海洋热含量变化的主要影响因子之一^[28]。南海海-气相互作用的热通量中,潜热通量输送占总体热量交换的八成以上,夏季风时期占的比例更高^[28]。因此,本文从潜热通量出发研究低层大气对上层海洋热含量变化的影响。图 12 分别为南海夏季风爆发早、晚年前一年冬季和春季南海潜热通量距平分布图。从图 12a, b 可以看出:季风爆发早年前一年冬季(12~2 月),南海中南部潜热通量异常偏低,海洋向大气释放热量减少,因而南海中南部热含量为正距平,最能反映热含量变化的 100~200 m 海温也为正距平。季风爆发晚年,情况正好相反,南海中南部潜热通量为正距平,海洋向大气释放热量增多,热含量为负距平,100~200 m 海温也为负距平。季风爆发早、晚年春季的结论(图 12c, d)与冬季一致。

低层海气界面热通量的变化引起冬春季上层海洋热含量变化,热含量通过改变海陆温差来影响南海夏季风的爆发。季风爆发早年的前一年冬季,由于海气界面热通量异常偏小,南海中南部海洋向大气释放的热量减少,热含量为正距平,加大了春季南海中南部海盆和周围陆地冷海暖的海陆温差,有

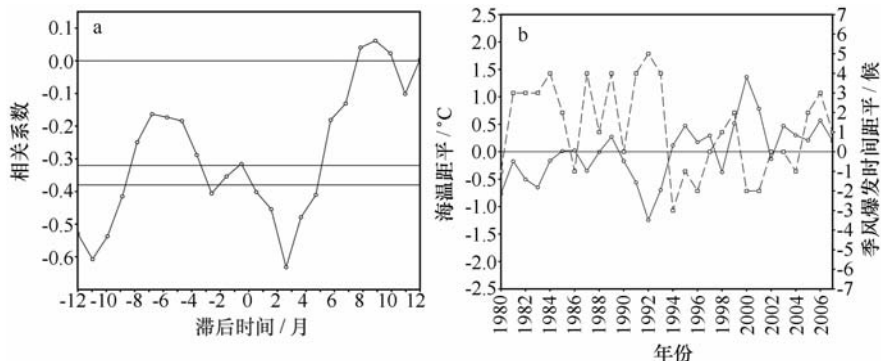


图 11 南海季风爆发时间与南海南部($5^{\circ}\sim 11^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$)149 m 层海温的时间滞后相关图(横坐标负数为季风爆发前一年,正数为季风爆发当年)(a)和南海夏季风爆发时间距平与 3 月份该层海温距平的时间序列图(b)(实线:海温距平,虚线:季风爆发时间距平)

利于夏季风的早爆发。季风爆发晚年的前一年冬季,海气界面热通量偏大,使得海洋失去热量增多,

热含量为负异常,减小了冬春季的陆冷海暖的海陆温差,不利于南海夏季风的早爆发。

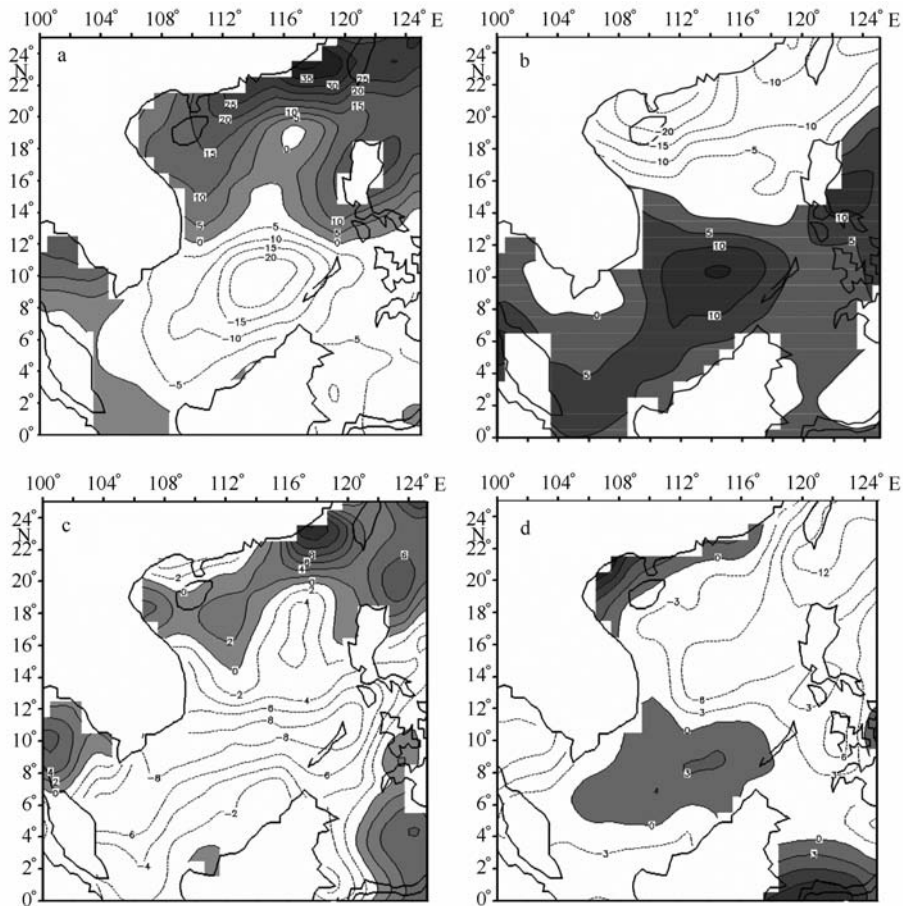


图 12 季风爆发早年(a,c)、晚年(b,d)前一年冬季(上面)和春季(下面)南海海气界面潜热通量距平分布图(单位: W/m^2) (阴影区代表正距平)

5 结论和讨论

本文使用 Wang Bin 等^[24]定义的南海夏季风爆发指数,确定了 1980—2007 年每年南海季风爆发日期。以此为前提,文中使用近 30 a 的南海潜热通量、上层海洋热容量、400 m 以上的逐层海温资料,分析了季风爆发异常年,海洋热力结构异常的时空分布,并着重研究了二者之间的相关性和联系,同时也提出南海上层海洋热含量对季风爆发造成影响的可能过程。通过分析讨论,得出以下结论:

(1)南海上层海洋热含量的变化集中体现在南海中南部($8^{\circ}\sim 16^{\circ}N, 110^{\circ}\sim 120^{\circ}E$)。在南海夏季风爆发早(晚)年前一年冬季和春季,热含量呈反位相变化。季风爆发早(晚)年,上层海洋热含量为正(负)距平。

(2)南海夏季风爆发异常年,南海 100 m 以上层和 100~200 m 之间水层的海温变化不同。100 m 以上层海洋对大气调整的反应不明显,而 100~200 m 海温呈明显的反位相变化。在南海夏季风爆发早(晚)年,次表层海温为正(负)距平。

(3)南海上层海洋热含量变化的信号在 100~200 m 之间的次表层海域最强。这主要是由于 100~200 m 之间往往还处于海洋的温跃层内,海温垂直梯度较大,所以海气界面热通量变化在温跃层引起的变化远大于上混合层。

(4)在季风爆发前一年冬季和当年春季,南海上层海洋热含量变化具有持续性。这是由于 100~200 m 水层的海温对上层海洋热力结构调整和海气界面大气作用最为明显,次表层海水不易受上层扰动的影响,因此具有很强的记忆能力。

(5)南海夏季风爆发早晚与当年 1~5 月份南海南部上层海洋热含量具有显著负相关,其中尤其以 3 月份相关关系最好。次表层海温也明显表现出这一年内变化特征。这是上层海洋热含量引起海陆温差变化的结果。季风爆发早(晚)年的前一年冬季,由于海气界面热通量异常偏小(大),南海中南部海洋向大气释放的热量减少(增多),热含量为正(负)异常,加大(减弱)了季风爆发前陆地冷、海洋暖的海陆温差,有利于(不利于)南海夏季风的早爆发。

本文主要对季风爆发早晚年,南海上层海洋热

含量的变化特征及其与南海夏季风爆发早晚的相关关系进行了诊断分析,并且在前期工作的基础上进一步探讨了热含量变化的过程及其对季风爆发造成影响的可能原因。但是本文,对于上层海洋热状态对季风爆发早晚年的影响的深入剖析还有待进一步研究,同时也需要对更多的物理量进行诊断分析和数值模拟,从而明确热含量的变化原因,并证明文中提出的南海中南部上层海洋热含量影响南海夏季风爆发的看法。

参考文献:

- [1] 李崇银,张利平. 南海夏季风活动及其影响[J]. 大气科学,1999,23(3):257—266.
- [2] 丁一汇,李崇银,柳艳菊,等. 南海季风试验研究[J]. 气候与环境研究,2002,7(2):202—208.
- [3] 丁一汇,李崇银. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用[M]. 北京:气象出版社,1999.
- [4] DING Yi-hui,LI Chong-yin,LIU Yan-ju. Overview of the South China Sea monsoon experiment[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2004,21(3):343—360.
- [5] 任雪娟,钱永甫. 南海地区的潜热输送与我国东南部降水的要相关分析[J]. 海洋学报,2000,22(2):25—33.
- [6] 何有海,关翠华. 南海上层海洋热力结构年际和年代际变化的研究[J]. 地球科学进展,2000,15(4):479.
- [7] 王东晓,周发琇,李永平. 南海表层水温和海面热收支的年循环特征[J]. 海洋学报,1997,19:33—44.
- [8] 周发琇,高荣珍,张涛. 南海表层水温年循环的谐波特征[J]. 青岛海洋大学学报,1999,29(2):173—179.
- [9] GAO Rong-zhen, ZHOU Fa-xiu, FANG Wen-dong. SST intraseasonal oscillation and atmospheric forcing system of the South China Sea [J]. China Oceanol Limnol, 2000, 18: 289—296.
- [10] 何有海,关翠华,甘子钧. 南海南部海洋上层的热振荡[J]. 海洋学报,1992,14(3):19—28.
- [11] 何有海,关翠华,等. 南海南部热结构和水温的垂直分布[G]//南沙群岛海区物理海洋学研究论文集. 北京:海洋出版社,1994.
- [12] 张秀芝,李江龙. 南海次表层海温与南海夏季风的关系初探[M]//南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京:气象出版社,1999:121—124.
- [13] 张秀芝,李江龙,王东晓. 热带海洋跃层深度与南海夏季风强度关系探讨[J]. 海洋学报,2001,23(3):26—34.
- [14] 张秀芝,李江龙,王东晓. 热带次表层海温与南海夏季风的关系研究[J]. 气象学报,2002,60(2):156—163.
- [15] 高荣珍,王东晓,王卫强,等. 南海上层海洋热结构的年循环与半年循环[J]. 大气科学,2003,27(3):345—353.
- [16] 周发琇,高荣珍. 南海次表层水温的季节内变化[J]. 科学通报,2001,46(21):1831—1837.
- [17] 吴迪生,闫敬华,张红梅,等. 南海夏季风爆发日期与次表层水温变化对夏季风的影响[J]. 热带海洋学报,2004,23(1):9—15.
- [18] 吴迪生,魏建苏,周水华,等. 南海中北部次表层水温与南海夏季风和广东旱涝[J]. 热带海洋学报,2007,23(6):581—586.
- [19] 高辉,何金海,张芳华. 太平洋次表层海温与南海夏季风建立关系初探[J]. 南京气象学院学报,2002,25(3):351—357.
- [20] 黄荣辉,顾雷,徐予红,等. 东亚夏季风爆发和北进的年际变化特征及其与热带西太平洋热状态的关系[J]. 大气科学,2005,29(1):20—36.
- [21] 陈永利,胡敦欣. 南海夏季风爆发与西太平洋暖池地区热含量及对流异常[J]. 海洋学报,2003,25(3):20—31.
- [22] 温之平,薛晓冰,梁肇宁,等. 热带海温异常与南海夏季风建立迟早的初步研究[J]. 中山大学学报,2005,44(1):94—98.
- [23] 张增海,姜华,王辉,等. 南海西南季风期 NCEP2 湍流热通量的质量分析[J]. 海洋学报,2006,28(2):29—38.
- [24] WANG Bin, LIN Ho, YONG Sheng, et al. Denfinition of South China Sea monsoon onset and commencement of the East Asia summer monsoon[J]. Journal of climate,2004,17:699—710.
- [25] 何金海,丁一汇,高辉,等. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数[M]. 北京:气象出版社,2001:123.
- [26] CHU Peter, CHEN Yu-chun, AKIRA Kuninaka. Seasonal variability of the Yellow Sea/East China Sea surface fluxes and thermohaline structure[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2005,22(1):1—20.
- [27] 何有海,关翠华. 南海上层海洋热含量的年际和年代际变化[J]. 热带海洋,1997,16(1):23—29.
- [28] 王丽娟,王辉,闫俊岳,等. 南海海气界面潜热通量的分布特征及其对西南季风爆发影响的初步分析[J]. 海洋学报,2008,30(1):20—30.
- [29] REN Xue-juan, QIAN Yong-fu. Basic climatological features of air-sea heat exchanges in the south China Sea(SCS)region and their relations with the SCS monsoon[J]. Acta Meteor Sinica,1999,13(4):426—438.

A preliminary analysis on the relationship between the South China Sea summer monsoon onset and the upper heat content during the previous period in this region

WANG Li-juan¹, WANG Hui², JIN Qi-hua³, YIN Zhan-fu⁴

(1. CMA Public Weather Service Center, Beijing 100081, China; 2. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081, China; 3. China Chinese Academy of Meteorology Science, Beijing 100081, China; 4. The administrative bureau of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the monthly heat content and sea temperature datasets over the South China Sea (SCS) from January 1980 to December 2007, the temporal and spatial distribution characteristics of the heat content over SCS and its relationship with the onset of the summer monsoon (SCSM) was analyzed, after that, the possible contributions to the anomalous onset times of SCSM was further explored as well. It is showed that the main area of the upper layer heat content changes is located over the south central SCS ($8^{\circ}\sim 16^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$), and the strongest signal of the heat content changes is kept in the subsurface (100~200 m) over the SCS. Compared with the early onset monsoon years, the features of the winter-spring heat content over the SCS holds the opposite polarity during the late onset years. The early (late) onset of the SCSM is accompanied by the positive (negative) heat content anomalies during the previous winter-spring except for December. Furthermore, it is also pointed out that the negative correlation coefficient peaks when the heat content anomalies lead the onset of the SCSM by 1~5 months, especially when the heat content anomaly is fixed in the previous March. Thus, the heat content in March over the south central SCS is a good premonitory signal for the onset of the SCSM. The positive (negative) heat content anomalies over the SCS as well as the positive (negative) upper ocean heat anomalies, which increase (decrease) the temperature gradient between ocean and land before the onset of the SCSM, are conducive to the early (late) onset of the SCSM eventually.

Key words: South China Sea; the upper layer heat content; the South China Sea summer monsoon